

## ホブ切り歯車の歯形誤差に関する研究

著者	渡辺 真
号	9
発行年	1965
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/10968">http://hdl.handle.net/10097/10968</a>

氏 名（本 籍）	わた なべ まこと 渡 辺 真（茨城県）
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 才 9 号
学位授与年月日	昭和 4 0 年 4 月 1 4 日
学位授与の要件	学位規則才 5 条才 2 項該当
最 終 学 歴	昭和 2 3 年 3 月 東北大学工学部卒業
学 位 論 文 題 目	ホブ切り歯車の歯形誤差に 関する研究
論 文 審 査 委 員	教授（主査） 酒 井 高 男 教 授 松 山 多 賀 一 教 授 佐 藤 健 児 教 授 斎 藤 秀 雄

---

## 論 文 内 容 の 要 旨

### 第 1 章 緒 論

現在の歯車製作において、ホブ盤の利用率は極めて高く、カサ歯車歯切盤など一切の歯車を工作する歯切機械を含めて、台数において約 5 0 % を占めている。この比率は、自動車工場、車両工場、電機工場など、それぞれの工場の製品により差のあることは当然であるが、いずれの工場においても、ホブ盤の重要性は無視できない。

歯車の生産工場においては、ホブ盤の作業能率を向上させるとともに、一方においては、ホブ盤、ホブおよび取付精度を改善して被切削歯車の精度の向上を行なってきた。ところが生産性を考慮に入れた切削条件でホブ切りされた歯車は、いわゆる「二線当り」と称する歯形誤差があらわれる場合が多い。この誤差は、稼動中の歯車の騒音や振動の原因となり極めて好ましくない現象である。従来、この歯形誤差の原因として、ホブの精度、ホブ盤の静的精度、ホブの取付精度、歯車ブランクの取付精度のみをとりあげてきた。

ところが、ホブ、ホブ盤の精度および取付精度の向上を行なってきたにもかかわらず、被切削歯車の精度、特に、歯形精度については、満足すべき結果が得られなかった。そして、なお他の要因に起因する誤差が介入することが判ってきた。

他方において、当初に述べたように、ホブ切削における切削条件は、従来、根本的な対策があまり行なわれておらず、筆者は、ホブ盤の動的精度の優劣を比較することにより、切削条件の適正化を研究した。そのとき、切削条件のうち、切込量の差異によって生ずる切削抵抗の変動が、被切削歯車精度に関係の多いことを知った。筆者は、これらの歯形誤差に関する現象は、歯形が創成されときのホブ盤の動的精度に起因するらしいことに着目した。そこで、ホブ盤の動的精度と、被切削歯車の歯形誤差との関係を追求した。

一般に歯車の精度規格は、歯形誤差、歯スジ方向誤差、歯ミゾの振れおよびピッチ誤差について定められている。これらの誤差のうち、ホブ切り歯車は、歯形誤差において、その許容値を満足させることが困難であることが、国内11社の実績からも明らかである。

また、筆者は、特定の高精度ホブを試作し、ホブ盤の静的精度、ホブおよび歯車ブランクの取付精度も実際の作業としては最高に管理された状態において切削実験を行なったが、その結果、歯形誤差以外は、JIS許容値で2級を満足しているにもかかわらず、歯形誤差は、4級以下であった。

この歯形誤差は、「二線当り」の原因となり、歯車の性能に悪影響をおよぼすことは、動力循環式動荷重試験機の測定結果より明らかにされた。すなわち、 $m6$ の歯車の噛み合わせで、動荷重変動率を測定したが、歯形誤差の多い歯車においては、周速が増すにつれて、変動率も約4倍になっている。

これらの動荷重試験からも、歯形誤差の噛合性能に及ぼす影響は明らかであり、この見地から考えても、ホブ切り歯車の歯形誤差の向上は、現下の産業状況にあつて、必要欠くべからざるものと結論を下すに至った。

## 第2章 ホブ切削における切削条件の選び方

前章において、ホブ盤で歯車を切削するとき、その切削条件が歯車精度に影響を及ぼすことを述べた。これは、一般の工作機械におけると同様に、切削条件を軽減することにより、工具および工作物の動的変位は少なくなり、工作物の精度も向上することは当然である。しかし、一般の生産工場において、歯車を生産する場合、精度のみにとらわれて、生産性を無視した切削を行なうことは好ましくない。したがって、ホブ盤の切削条件は、高速、重切削の方向をとらざるを得ない。このように切削条件が、苛酷になったとき、新たに生ずる問題は、精度の外に、ビビリ振

動と、ホブ異状摩耗である。

ホブ盤のビビリ振動は、被切削歯車の大きさ、切削速度、および送り量などに要因があると考えられ、一般には、経験的にビビリ振動を発生せしめない条件を把握し、ホブ切り作業の切削諸元の限界を規制している。

筆者は、R社製ホブ盤を使用し、送り量、切削速度を変化せしめてビビリ振動の発生状態を検討した。測定方法は、ホブ軸に抵抗線歪ゲージを貼り、ホブ軸にかかる切削力変動を測定することにより行なった。供試歯車としては、 $m5$ 、 $Z38$ のものを使った。実験結果、送り量  $1.7\text{ mm/rev}$  以下の場合には、ビビリは発生せず、切削力も送り量に比例して小さくなる。切削速度および送り量に対して、振動数は、ほぼ一定で、 $70\text{ c/}\theta$  近辺であることを、オシログラフより確認した。なお、ビビリ振動と、ホブ駆動系の固有振動数との間に、何らかの関係があるかどうか知るために、ホブ駆動系の固有振動数を計算した。その結果、一次振動の振動数は、実験で求めたビビリ振動数と数値的には一致しないが、オーダはほぼ合っていることを知った。このビビリ振動の防止については、振動系の中に人為的に制動を入れてやらねばならない。筆者は、この方法として、ホブ軸端についているフライホイールにブレーキシューをとりつけ、円周より半径方向に加圧し、ビビリを抑制した。この結果、振巾の絶対値は  $0.25\text{ deg}$  で、約  $1/2$  に減少した。

ホブ盤のビビリ振動とともに、切削条件の限界を決める要因として、ホブが切削に耐え得る寿命、すなわち切刃二番面の摩耗も重要な問題である。ホブの摩耗は、直接、現品について測定を行なえば、極めて的確に把握し得るが、歯車の切削中に測定することは不可能である。そこでホブ摩耗量と、ホブと歯車の間に発生する切削熱との関係を究明し、その切削熱の測定結果から、間接的に切削条件の可否を検討した。

切削に使用したホブ盤は、R社製ホブ盤、およびH社製新型ホブ盤（両者とも被切削歯車最大径  $1000\text{ mm}$ ）であり、 $m5$ 、 $Z38$ の歯車を切削した。実験の進め方としては、切削速度、送り量、切込み深さ、切削油種類、油圧、ホブ掬い角、ホブ条数、および被切削歯車材質を因子としてとりあげ、実験計画法を用いて良否の判定を行なった。測定値としては、歯車切削中の切削熱のほかに、ホブ盤テーブルの回転振動、ベッドの上下振動、ホブ軸の振れをとり、これらの測定値はすべて電氣的に置換して、オシログラフで記録した。この実験により、切削速度よりも送り量を上げる方が能率的であり、ホブ掬い角は強度的な考慮も加えて、 $8\text{ deg}$  前後がよく、多条ホブは、能率的であるが、ホブ盤自体の剛性を考慮した上で使用すべきであるとの結論を得た。以上のR社製およびH社製のホブ盤による実験結果に、さらに各種のホブ盤による他のモジュールの歯車の切削実験結果を加味して、生産性を考慮した切削諸元の標準を決めた。

### 第3章 ホブ切削における切削抵抗と その動的精度に及ぼす影響の研究

前章において、ホブ盤による歯車の切削性を検討するため、ホブ盤の切削条件として考えられる各要因をとりあげて実験を行なった。その結果、適切な切削諸元を把握したが、同時に、ホブ盤における動的変位の変動は、ホブの切削機構の特徴である周期的な断続切削によって、誘起されるものであり、またホブ盤の構造上、避け得られぬ要因であることも明らかになった。さらに、切削能率を向上させるため、切削条件を苛酷にしていくと、動的変位の変動も大きくなることを知った。そこで、本章においては、決められた切削条件を採用したときのホブ盤の動的精度を、ホブ盤の各部について定量的に測定し、その被削歯車に対する影響を検討した。

ホブ盤の切削抵抗の変動によって誘起されるホブ盤の動的変位の変動は、ホブ一回転を周期として、繰返し現われるものであるから、歯形誤差に及ぼす影響が最も大きいことが推定される。歯形誤差に影響を及ぼすものとしては、ホブヘッド関係の動的精度と、テーブル関係の動的精度が考えられる。

筆者は、切削抵抗に起因する切削3分力から検討を加え、ホブ切り歯車の歯形誤差に影響を及ぼす動的精度の要因として次表の10項目について、定量的に測定を行なった。

動的精度の点からみた歯形誤差に影響を及ぼす要因

分 類		要 因
ホブヘッド関係	主分力の影響	i) ホブ切刃の撓み ii) ホブ軸の振り iii) ホブ軸駆動系統の振り振動 iv) ホブヘッド上下振動
	背分力の影響	v) ホブ軸の撓み
	水平分力の影響	vi) ホブ切刃の軸方向 偏倚 vii) ホブ軸の軸方向 偏倚
テーブル関係	水平分力の影響	viii) 被切削歯車の回転振動 ix) 被切削歯車のフライホール側への倒れ
	背分力の影響	x) 被切削歯車のサポートコラム側への倒れ

切削主分力に起因するホブ切刃の撓みは、ホブ切刃の裏面に抵抗線歪ゲージを貼って、切削力による切刃の撓みによる圧縮歪を直接測定した。 $m10$ のホブによる実験例によれば、歪量は  $680 \times 10^{-6}$  であり、圧力角に換算して僅か  $7^\circ$  であるため、歯形誤差に対しては、問題とす

るに足らぬ数値である。

ホブ軸の振りは、ホブ軸の軸心に対し、 $45^\circ$ の傾きで左右方向に交互に4枚の歪計を貼付け、測定を行なった。各切削条件の場合の歪を測定し、 $m10$ のホブで送り量 $1.35\text{ mm/rev}$ のときを例にとると、歪量は $260 \times 10^{-6}$ であり、ホブの回転角に換算すると、 $10^{-5}\text{ rad}$ となり、歯形誤差に対しては、全然考慮する必要はない。

ホブ軸駆動系統の振り振動は、ホブ軸端に、振り振動計を取付けて行なった。 $m5$ 、 $Z38$ の歯車を切削するとき、切削速度 $45\text{ m/min}$ 、送り量 $1.35\text{ mm/rev}$ の条件において、ホブ軸の角変位は、荒挽のとき、 $0.19\text{ deg}$ 、仕上のとき、 $0.10\text{ deg}$ となる。この値を、ホブのよろめき誤差に換算すると、 $8\mu$ となり、歯形誤差に直接、影響を及ぼすことになり、検討を要する問題であることが明らかになった。ホブヘッドの上下振動は、振動計のピックアップを直接にホブヘッドに取付け、ヘッドの振巾を記録した。測定結果、オシログラフに現われた振動は大きい、実際に歯形を創成している間の振動は少なく、ホブ盤のコラムあるいは被切削歯車などと共振して、他の振動を誘起せぬかぎり、歯形誤差に影響するところは少ないことが明らかになった。

ホブ軸の撓みは、切削中の変位を、抵抗線型変換器で測定したが、定量的に考えて、極めて少なく、歯形誤差に及ぼす影響はないと判断した。

ホブ切刃の軸方向の偏倚は、ホブ切刃の側面二番面のところに、直接、抵抗線歪計を貼って測定した。 $m5$ 、 $Z38$ の歯車を荒挽したとき、歪量は $4 \times 10^{-6}$ で、全く度外視し得る数値である。

ホブ軸の軸方向の偏倚は、歯形に直接影響を及ぼすものとして、特に問題にしている点である。偏倚量の測定法としては、ホブ軸の先端に挺子を介して抵抗線型変換器を取付け、オシログラフに記録させた。切削速度 $45\text{ m/min}$ 、送り量 $1.35\text{ mm/rev}$ の場合、偏倚量は、 $20\mu$ となり、歯形誤差に及ぼす影響も大きく、ホブ盤の動的精度としては、最も警戒し、対策を立てるべき誤差項目である。

被切削歯車の回転振動は、切削抵抗によって、水平分力がホブ切刃にかかった場合に、円周方向に加振され、誘起される。この回転振動は、被切削歯車の締付ネジの先端に振り振動計を取付けて測定したが、切削条件との間には、有意差が認められず、R社製ホブ盤で、 $m5$ 、 $Z38$ の歯車を切削した場合、 $0.02 \sim 0.03\text{ deg}$ の変動が現われる。これは、被切削歯車の円周上の誤差に換算すると、 $30 \sim 40\mu$ の誤差となり、歯形に影響を及ぼすものとして、検討を必要とすることが、明らかになった。

被切削歯車素材の変位は、切削中の歯車材に対し、互に直角の方向から、抵抗線歪計を内側に

貼付けたリングを接触させ、リングの変形量を歪測定器で測定することにより、把握した。素材の変位量は、実験値にバラツキが出ているが、送り量に有意差が認められる。従って特に重切削の場合には、素材の支持方法に留意せねばならない。

以上の結果、歯形誤差に特に影響を及ぼすと考えられるホブ盤の動的要因は、ホブ軸駆動系統の振り振動、ホブ軸の軸方向の偏倚、および被切削歯車の回転振動の3項目であることが明らかになった。

#### 第4章 歯形誤差に影響を及ぼす要因に対する考察

前章において、歯形誤差に影響を及ぼすと考えられるホブ盤の動的要因として、ホブ軸駆動系統の振り振動、ホブ軸の軸方向の偏倚、および被切削歯車の回転振動がとりあげられた。これらの動的変位の変動のため、被切削歯車のインポリユート歯形が、ホブの切刃によって創成されるときに、ホブの切刃は正規の位置から偏ったところで歯を切削していることになる。また、ホブ軸駆動系統の振り振動、被切削歯車の回転振動の誤差要因も、ホブ軸の軸方向の偏倚に置換えて、同様に取扱えるのである。そこでホブ軸の軸方向の偏倚について考察する。

ホブ盤で、ホブの切刃が被切削歯車歯形を創成しているとき、切削抵抗の変動により、動的変位の変動を起す。ホブの切削時における、ホブ軸の軸方向偏倚と、切削している切刃にあらわれた切削力の変動を図1に示す。

ホブの偏倚量、切削量の最も大きい切刃をaとし、以下b, c …… iとする。次にホブが1回転し、歯車の1歯を創成する過程における、それぞれの切刃溝と、被切削歯車との接触線の状態を図2に示す。

図2で幾何学的に表示された切削状態と、図1の実験結果を関係づけるために、ホブ軸に装置した回転マークと、特定の切刃溝との関係を予め確認しておき、オシログラフに現われた回転マークと一致させる。図1において、aの状態のとき、ホブ軸の偏倚が最も大きく出ているが、これはホブ切刃と被切削歯車歯形との接触点は、歯車左歯面ではA, B, C 3点で、右歯面はD, E 2点で接触しているため、左歯面が切削抵抗による反作用が多く、ホブ軸は、締めナット側に偏倚する。したがって、被切削歯車歯形において、A, B, C 3点で切削される部分は十側、D, E 2点で切削される部分は一側の歯形誤差が現われる。また、ホブヘッドは、フライホイール側が重いので、図2でd, e, fのように右歯面の切削抵抗による反作用の多いときは勿論、cおよびg, hのように左右の切削力が、ほぼ釣り合っているときでも、やはりホブ軸はフライホイール側に偏倚する。この切削過程におけるホブ切刃と、噛合っている歯車の歯形誤差との関係を図3に示す。

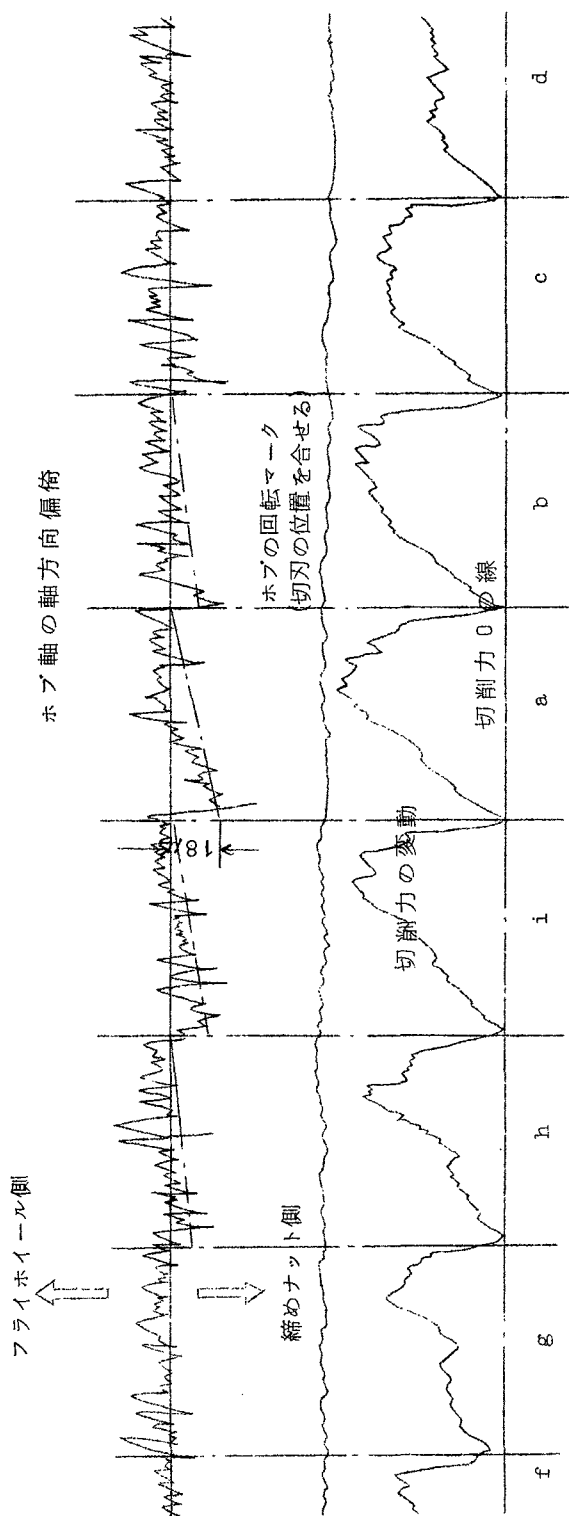
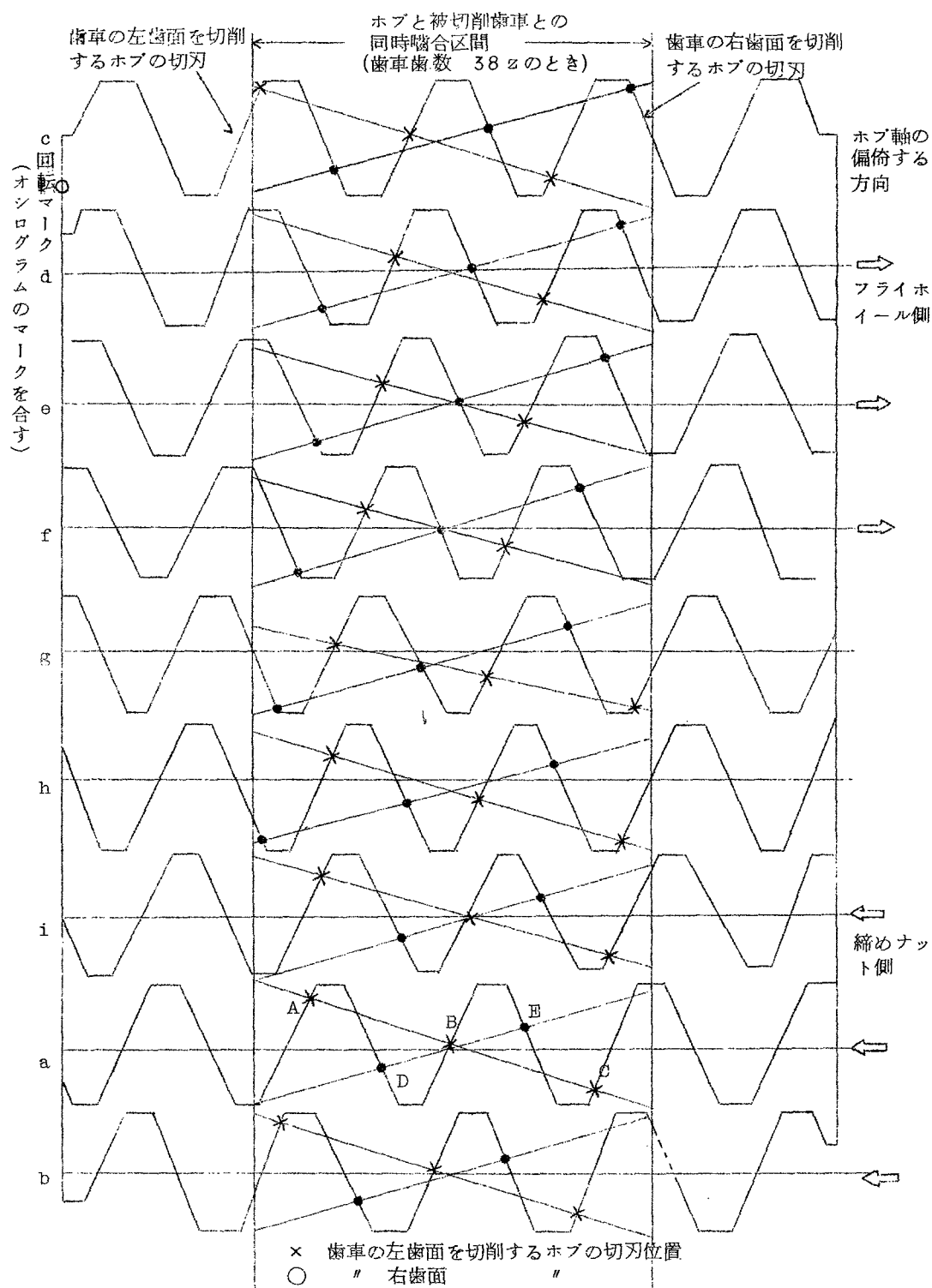
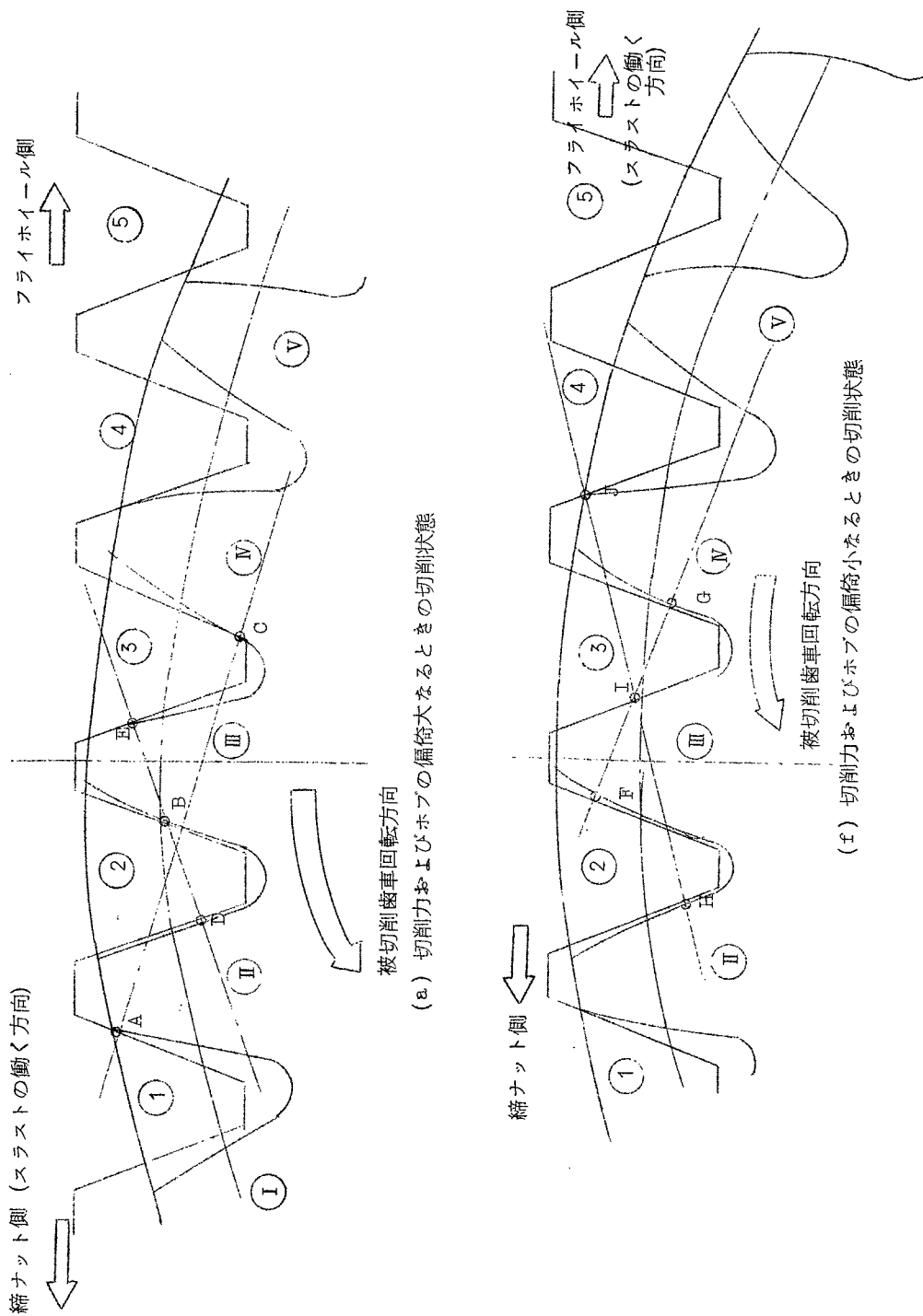


図 1 ホブ軸の軸方向偏倚と切削力との関係 (荒挽)

歯車仕様: 5 m 38 z 50 F S400 (HS36)  
 切削条件: 切削速度 37 m/min 送り量 1.35 mm  
 切込量 1.5 mm







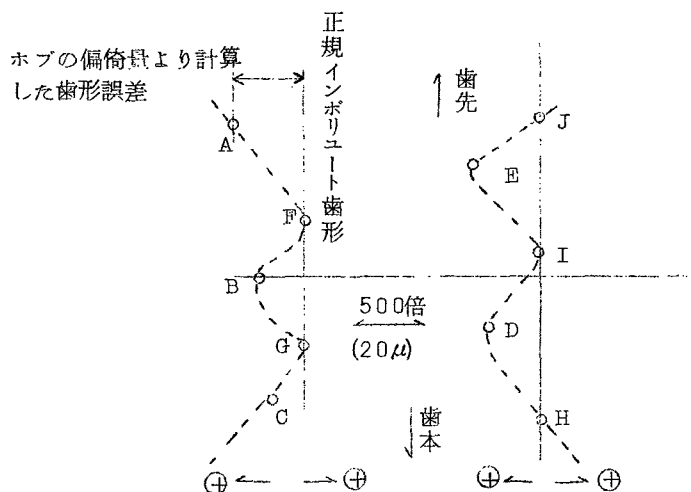


図3 切削過程におけるホブ切刃と歯形誤差との関係

以上の実験結果から明らかなように、被切削歯車の歯形誤差の生成に、極めて密接な関係をもつ、ホブ軸の軸方向の偏倚は、ホブ1回転を周期として繰返えされている。

テーブルの回転振動、およびホブ軸の振り振動についても、同様の検討を加え、これらの動的変位の変動に起因する総合誤差を、ホブと被切削歯車の歯形の嚙合線上における嚙合点の、理論的に正しい位置からの変位として計算し、そのとき創成される歯形誤差を推定すると、図4に示すような状態となる。

この推定された歯形誤差は、一般のホブ切り歯車の歯形誤差の実測値と、傾向が極めてよく一致している。

本考察により、かねて問題点となっていた、ホブ切り歯車の「二線当り」の原因は、ホブ切り作業における、切削抵抗の変動によって誘起される、ホブ盤の動的変位の変動にあることが解明された。

## 第5章 歯形誤差に対する理論的考察の追補

ホブ切り歯車の歯形誤差において、ホブ盤の動的変位の変動の測定値から理論的に導き出された歯形誤差は、被切削歯車の実際の歯形誤差の傾向と非常によく合致している。しかし両者の間

	切削条件	動的精度の変動から類推した歯形誤差		被切削歯車歯形誤差 実測値	備考
		各誤差要因による影響の検討	総合誤差		
荒挽	切削速度 37m/min 送り量 1.35mm/rev 切込量 11.5mm	<p>歯先修整 P.C.D 20μ 歯形誤差 30μ 歯先修整 10μ</p>	<p>P.C.D 20μ</p>	<p>P.C.D 30μ</p>	被切削歯車仕様 5m 38z 20°PA FD S40C  芯出記録 ホブ 7μ 歯車機 10μ
	仕上	<p>歯先修整 P.C.D 11μ 歯形誤差 11μ 歯先修整 11μ</p>	<p>P.C.D 11μ</p>	<p>P.C.D 11μ</p>	ホブ精度 歯面に沿ったピ ッチ誤差 右+5μ 左- 5μ よろめき誤差 右11μ 左14μ 圧力角誤差 右+1 左0 刃溝分割誤差 11μ

図4 切削抵抗による動的精度の変動によって生成される歯形誤差

には数値的に差異が認められる。これは、ホブの誤差、取付の誤差、およびホブ盤の静的精度など全て除外されてあるためと考えられる。そこで、ホブ盤の動的変位の変動以外に最も影響の大きいと思われるホブの精度も考察に入れ、ホブ切り歯車の歯形誤差の生成原因を探索した。

ホブの誤差としては、あらゆる誤差が総合される噛合誤差を実測することにより、被切削歯車の歯形誤差との関係を検討した。

筆者は、切削実験に使用したホブの噛合誤差を、レーベ社ホブ測定機で実測し、この測定値から、被切削歯車の歯形誤差を計算し、その結果を、前章に述べたホブ盤の動的変位の変動から類推した歯形誤差に重畳させ、ホブの誤差も含めた歯形誤差を類推した。

理論的に、ホブ盤に起因する総合誤差と、ホブの総合誤差である噛合誤差の、それぞれから推定される歯形誤差を加えたものは、被切削歯車の実際の歯形誤差に当然近づくべきである。本実験においても、ホブ盤の動的変位の変動から推定された歯形誤差が、歯車の歯形誤差の実測値の約70%であったが、ホブの噛合誤差をも含めて推定した歯形誤差は、実測値の約90%と近づいている。このことは、ホブ盤の構造上、避け得られぬ動的変位の変動に起因する歯形誤差に対しては、ホブの噛合誤差を予め知るにより、これらの誤差を、互に打消し合うようにすることが可能なことを示している。

## 第6章 ホブ盤動的精度の対策

ホブ盤で切削した歯車の歯形が、ホブの精度、取付精度とともに、ホブ盤の動的変位の変動により影響されることは既述した。ホブの精度および取付の精度については、別途に検討をすすめているので、本章では、ホブ盤の動的精度の向上対策について述べる。

ホブ盤の動的変位の変動を減少させる根本的な対策としては、ホブ盤のホブヘッド、テーブル関係を改善して、強力高速型にすることである。まず、4章において、ホブ盤の動的精度と、被切削歯車の歯形誤差との関係を検討したとき、使用したホブ盤は比較的旧式なR社製ホブ盤である。その研究結果は、定性的には他のホブ盤についても言及し得ると推定し得ると推定されるが、なお、この結論が他の型のホブ盤に如何に現われるか確認するため、H社製新型ホブ盤で実験を行なった。従来のホブ盤のホブ軸は、伝統的に平面軸受で支持されているが、H社製ホブ盤は、特に、筆者の実験結果に基き、ホブ軸の軸方向の偏倚を特に少なくするよう設計されたもので、ホブスピンドルに円錐コロ軸受を挿入した。このホブ盤で、R社製ホブ盤の動的精度の要因のうち、特に歯形誤差に大きな影響を与えると確認された、ホブ軸の軸方向の変位、ホブ軸駆動系統の振り振動、および被切削歯車の回転振動を測定した。この結果、旧型ホブ盤に比べ、切削能率は、切削速度および送り量の両者を勘案して、約2倍になるにもかかわらず、動的精度のオシロ

グラフに記録された振巾は、約 $\frac{1}{2}$ におさえることができた。また、このときの動的変位の変動から推定した歯形誤差は、 $m 5$ 、 $\pm 3.8$ の歯車を、切削速度  $40 \text{ m/min}$ 、送り量  $1.5 \text{ mm/rev}$  で切削したとき、 $10 \mu$ で、実測値の  $15 \mu$ との数値的な差はあるが、歯形誤差の傾向は一致している。このことは、本研究において検討してきた論旨が、汎用性のあるものであることを明らかにするものであり、また、動的精度の向上の対策効果を顕著ならしめている。

また、旧型ホブ盤についても、ホブ軸の軸方向の偏倚を防止することは、歯形精度の管理上、重要なことである。筆者は、R社製旧型ホブ盤のホブ軸々方向の水平分力を実測し、この測定した力に相当する荷重をホブ軸の軸方向に予めかけることにより、歯形精度の向上をはかった。方法としては、ホブ軸の先端についている、フライホイールの外端側面部に  $45 \text{ deg}$  の勾配をつけ、加圧力シユーをスプリングで押しつけることにより、軸方向の偏倚を防止した。この結果、歯形誤差は1～2級向上し、新型ホブ盤で切削された歯車に、ほぼ匹敵する精度が得られた。

なお、前章で検討を加えたホブの噛合誤差を、ホブ盤の動的変位の変動に起因する誤差に、重量しない位相に予め段取を行ない、誤差を互いに打消すようにすることは可能であり、実験結果、JIS規格で1級程度向上し得るが、実際の作業面では、非常に困難である。

## 第7章 結 論

本研究は、生産性を考えた切削条件でホブ切りされた歯車の歯形誤差について論じたものである。特に、従来の生産工場において、問題になっていた「二線当り」と称する歯形誤差の生成原因を追求し、その「二線当り」が歯車を切削するときのホブ盤の動的精度の変動から誘起されることを確認し、あわせて、その対策の方法について、述べたものである。

本研究で明らかになった項目についてまとめると、次のようになる。

- 1) ホブ盤のビビリ振動は、ホブ軸駆動系を一つの振り振動系と考えた系の固有振動数と、直接的な関係があるものと認められなかった。
- 2) ホブ盤の動的変位あるいは切削温度の測定を行なって、能率の点でも、従来の作業を上廻り、しかも、ビビリ振動の生じない限界を把握し、この結果に、さらに他のホブ盤による実験も勘案し、適切な、切削速度、および送り量の標準をきめた。
- 3) 以上の条件によって、ホブ切りされた歯車の歯形誤差の生成には、ホブ盤の動的変位の変動が、ホブの精度、ホブ盤の静的精度あるいは、ホブや歯車素材の取付精度と同様に、大きな原因となっていることがわかった。特に影響を及ぼすものとしては、次の項目があげられる。

### 1) ホブ軸の軸方向の偏倚

ii) 被切削歯車の回転振動

iii) ホブ軸駆動系統の振り振動

- 4) ホブ切り歯車の歯形誤差は、動的変位の変動値より推定することができ、この歯形誤差が「二線当り」の原因であることが明確にされた。この歯形誤差は、ホブの噛合誤差を加味することにより、より精しく推測できる。したがって、これらの誤差要因に対策を立てることにより、歯形精度は一段と向上させ得ることを確認した。
- 5) ホブ軸の軸方向の偏倚を抑えるため、ホブスピンドルに円スイコロ軸受を使用することは極めて効果的であり、この対策をほどこしたホブ盤で、歯車を切削した場合、切削能率は約2倍に値を採り得るにもかかわらず、軸方向の偏倚は、約 $\frac{1}{2}$ に保つことができた。
- 6) 旧来のホブ盤の動的精度を向上させるため、ホブ軸の回転方向の振動に減衰を与えたり、軸方向に圧力をかけ、軸方向の偏倚を止めることは、効果的である。これだけの対策によっても、歯形精度は、1～2級向上させることができる。

## 審 査 結 果 の 要 旨

現在の歯車製作において、ホブ盤の利用率はきわめて高く、台数において全歯切り機械の約50%を占めている。ホブ切り歯車の歯形精度をあげるためには、精度のよいホブ盤と精度のよいホブを用いるだけでなく、さらに軽い切削を行なうことが望ましい。しかしそれでは生産が落ちる。生産性を考慮に入れた切削条件で歯車をホブ切りすると、いわゆる二線当りと称する歯形誤差が現われる。この誤差は稼働中の歯車の騒音や振動の原因となり、きわめて好ましく誤差である。

著者は、二線当りを招くホブ切り歯車の歯形誤差が、歯車切削時におけるホブ盤の動的精度と関係があることに着目し、生産性を落とすことなく、精度のよい歯車を製作することを目的として、ホブ盤の動的精度と被切削歯車の歯形誤差との関係を追求し、あわせてその対策を検討した。本論文はこれらを取りまとめたものであって、全編7章より成る。

オ1章は緒論であって、ホブ盤で切削された歯車の精度と運転性能との関係につき、動力循環式歯車動荷重試験機による測定結果を用いて論じ、歯形誤差除去の重要性を述べている。

オ2章では、生産性を考慮に入れた切削条件の決め方について述べている。ホブ盤の切削条件は、高速、重切削を行なったときのビビリ振動の発生と、ホブの異常摩耗とによって限定される。著者は、切削速度、切り込み深さ、送り量、ホブすくい角、ホブ条数などを因子として取り上げて実験し、生産性を目的としたホブ切りの作業標準を定めている。

オ3章では、前章で定めた作業標準に従って歯車を切削したときのホブ盤の動的精度について論じている。著者は切削3分力が歯形精度に及ぼす影響を検討し、歯形誤差に影響を与える動的精度の要因10項目について定量的に測定した。その結果ホブ軸駆動系統のねじり振動、ホブ軸軸方向の偏倚、および被切削歯車の回転振動の3項目が、ホブ切り歯車の歯形誤差の主要原因になることを述べている。

オ4章では、ホブ盤の動的精度の測定結果に考察を加え、これが被切削歯車の歯形誤差に与える影響について論じている。すなわち前章で指摘された歯形誤差の3大原因により、ホブは被切削歯車に対し、その1回転をサイクルとして軸方向の偏倚を繰り返しており、これが二線当りの原因となる歯形誤差を与えることを明らかにしている。これらは、著者によって初めて明らかにされた重要な知見である。

オ5章では、ホブのカミアイ誤差を考慮した場合に、これとホブ盤に起因する総合誤差との組合せによって生ずる歯形の最終誤差の推論を行なっている。推論された歯形誤差は、実測値に一層近い結果を示している。

オ6章では、ホブ盤の動的精度を向上させる方法について論じている。さらに以上の研究成果をもととして設計試作されたホブ盤の性能について述べている。このホブ盤は旧型のそれに比較し、切削能率を2倍にあげた場合でも、動的精度は約2倍に向上している。

オ7章は結論である。

以上要するに、本論文は、ホブ切り歯車特有の歯形誤差について、その発生原因をホブ盤の動的精度との関係において究明し、その対策を論じ、さらにその具体的成果としての高効率高精度のホブ盤について述べたものであって、単に歯車の製作だけではなく、さらに一般工作機械学に与える寄与も少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。